ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 669.15.018.583

В.Н.АНАНЧЕНКО, И.К.ЦЫБРИЙ, Е.В.ВЯХИРЕВА, В.В.ГОЛОВКИН

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье приводится описание универсального информационно-измерительного комплекса для регистрации и обработки информации о параметрах эффекта Баркгаузена широкого круга ферромагнетиков в режиме реального времени.
***Ключевые слова**: эффект Баркгаузена, мониторинг качества, структура ферромагнетиков, информационно-измерительный комплекс, автоматизация обработки экспериментальных данных.*

Введение. В настоящее время метод, основанный на использовании эффекта Баркгаузена, имеет ряд неоспоримых преимуществ перед традиционными магнитными методами неразрушающего контроля качества ферромагнитных материалов, использующими в качестве инструмента контроля одну или несколько магнитных характеристик, например, коэрцитивную силу или магнитную проницаемость. Метод заключается в возбуждении в материале переменного магнитного поля и фиксации скачков э.д.с. Баркгаузена, возникающих при перемещении доменных границ под влиянием внешнего поля. Параметры получаемых при этом совокупностей скачков зависят от фазового состава материала, дисперсности фазовых составляющих, их конфигурации, наличия инородных включений, распределения полей напряжений, кристаллографической и магнитной текстуры и т.д., т.е. полностью характеризуют магнитное состояние материала. Основным преимуществом данного метода по сравнению с традиционными является большое количество независимых параметров, определяющих динамику магнитной структуры, что позволяет проводить многопараметровый мониторинг процессов структурообразования.

Однако эффективность применения метода для исследования структуры и свойств ферромагнитных материалов в значительной степени зависит от его аппаратурной реализации. Это связано как с необходимостью максимального охвата множества параметров, характеризующих изменение динамики доменных границ при циклическом перемагничивании ферромагнетика внешними магнитными полями, так и с низкой интенсивностью информативных сигналов, что требует включения в состав аппаратуры усилительных устройств с малым уровнем собственных шумов и работающих в широком частотном диапазоне.

Начиная с середины семидесятых годов, когда эффект Баркгаузена начал интенсивно использоваться в технических приложениях, разработа-

но множество приборов и устройств для измерения и регистрации скачков э.д.с. Баркгаузена, начиная от простейших приборов, регистрирующих один параметр, до измерительных комплексов, позволяющих осуществлять многопараметровый контроль [1-4]. Как правило, создание такой аппаратуры было нацелено на решение конкретной задачи контроля определенной характеристики качества ферромагнитного материала. В настоящее время назрела необходимость создания универсального устройства, позволяющего регистрировать и обрабатывать информацию о магнитной структуре широкого круга ферромагнетиков в режиме реального времени с использованием современных методов спектрального анализа и математической статистики.

Описание информационно-измерительного комплекса УКМШ. Комплекс состоит из следующих конструктивных блоков: блока первичной обработки информации (рис.1); измерительного преобразователя (рис.2) и устройства сопряжения с персональным компьютером, снабженного управляющей программой (рис.3).



Рис.1. Блок первичной обработки информации



Рис.2. Измерительный преобразователь УКМШ



Рис.3. Устройство сопряжения блока предварительной обработки информации УКМШ с ПЭВМ

Общее представление о работе комплекса можно получить исходя из структурной схемы на рис.4.

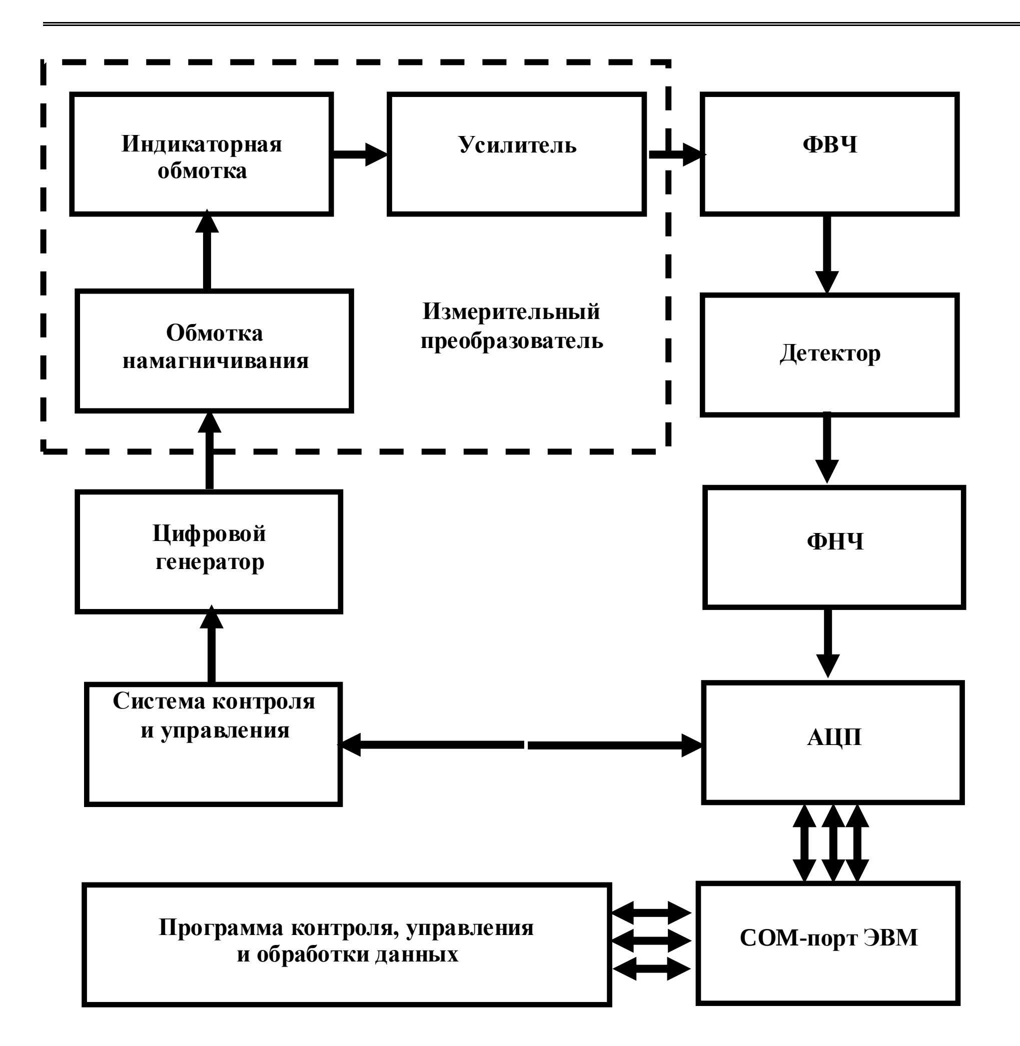


Рис.4. Структурная схема комплекса УКМШ

Обмотка намагничивания накладного измерительного преобразователя создает в испытуемом материале переменное магнитное поле. Частота поля может изменяться от 0,1 до 1000 Гц, интенсивность – от 0 до 300 А/м, что позволяет подобрать подходящие режимы исследования как для магнитомягких, так и для магнитотвердых ферромагнитных материалов и сплавов. Возникающий в материале поток скачков э.д.с. Баркгаузена различной длительности и амплитуды, образующих непрерывный спектр в диапазоне частот от 70 до 200 кГц, воспринимается индикаторной обмоткой измерительного преобразователя. Далее полученный сигнал усиливается широкополосным усилителем, входящим в состав измерительного преобразователя. Фильтр высоких частот служит для устранения низкочастотных дискретных составляющих спектра перемагничивания. После детектирования и аппаратурного сглаживания последовательность огибающих пакетов скачков э.д.с. Баркгаузена (ОСБ) поступает в

устройство сопряжения для оцифровки и дальнейшей обработки с помощью программы контроля, управления и обработки данных.

В основе устройства сопряжения лежит аналого-цифровой преобразователь с последовательным интерфейсом, обеспечивающий обработку аналогового сигнала, поступающего с блока первичной обработки, частотой до 1 кГц.

Основные характеристики устройства:
- количество разрядов 10;
- частота дискретизации, МГц 2,1;
- максимальное входное напряжение, В 5;
- максимальная частота входного сигнала, кГц 10.

Управляющая программа построена на основе многопоточной обработки данных, причем потоки выполняются параллельно, не влияя друг на друга, что делает возможным разделение функции управления программой, функции приема и вывода данных на экран ПЭВМ.

В меню программы предусмотрены следующие режимы вывода экспериментальных данных:

- режим вольтметра – позволяет получать значения текущих отсчетов и максимальных значений пакетов ОСБ;
- режим осциллографа, дающий возможность представления экспериментальных данных в виде последовательности непрерывно изменяющихся текущих значений ОСБ; при необходимости анализа исходной информации в виде скачков э.д.с. Баркгаузена предусмотрена подача выходного сигнала измерительного преобразователя на электронный осциллограф;
- режим спектроанализатора, при котором на базе быстрого преобразования Фурье можно получить спектральное представление как непрерывной последовательности ОСБ, так и отдельного пакета ОСБ.

Примеры работы комплекса. Программное обеспечение позволяет использовать различные режимы работы, которые в зависимости от поставленной задачи обеспечивают получение максимума информации о динамике доменной структуры и ее взаимосвязи со строением и свойствами исследуемого материала.

Последовательность преобразования информации при амплитудном анализе представлена на рис.5. Первичная информация о динамике доменной структуры ферромагнетика, в данном случае стали У8, в виде последовательности пакетов импульсов э.д.с. Баркгаузена преобразуется в соответствующую последовательность ОСБ, и определяются ее параметры – скорость нарастания переднего фронта, скорость спада заднего фронта и максимальное значение.

В случае, когда такой обработки недостаточно, необходимо использовать методы спектрального анализа. Например, ОСБ электротехнической стали, показанные на рис.6, имеют достаточно сложную конфигурацию, обусловленную различными условиями движения границ 180° и 90°-доменов. Огибающая представляет собой дуплет из двух

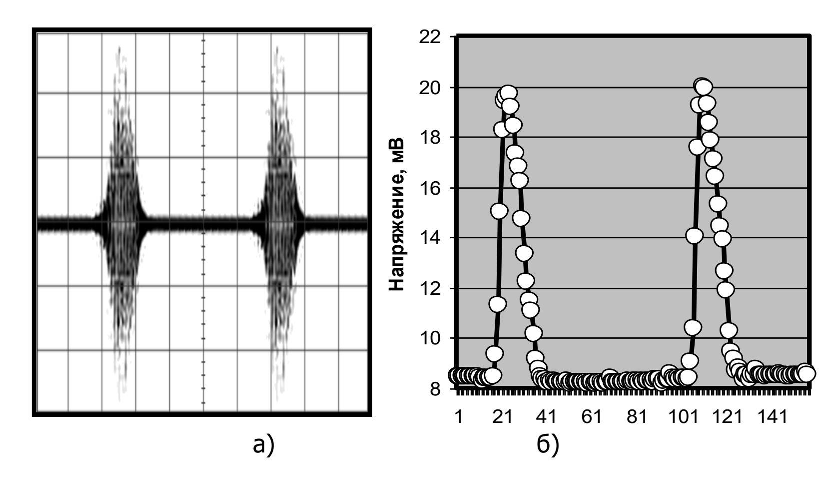


Рис.5. Осциллограммы пакетов скачков э.д.с. Баркгаузена стали У8 до (а) и после (б) программной обработки

максимумов, амплитудные значения и расстояние между которыми изменяются в зависимости от ряда структурных особенностей материала. Программа обработки данных позволяет оценить степень влияния этих особенностей на спектральные характеристики ОСБ и выбрать наиболее информативное распределение гармонических составляющих амплитудного или фазового спектра, действительной или мнимой его части.

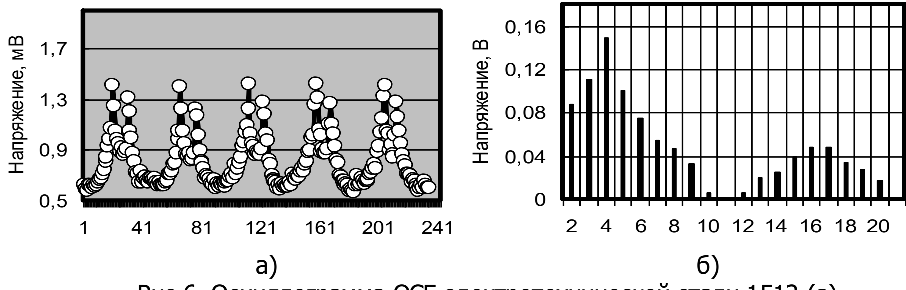


Рис.6. Осциллограмма ОСБ электротехнической стали 1512 (а) и ее амплитудный спектр (б)

Другим примером выбора наиболее подходящего способа обработки и представления экспериментальных данных могут служить результаты экспериментальных исследований влияния структурных трансформаций при термической обработке на магнитные свойства гетерогенных ферромагнетиков, в частности, углеродистой стали. Процессы, происходящие при отпуске углеродистой стали, изучались на образцах стали ХНМА, закаленной на мартенсит. Образующаяся в результате закалки структура характеризуется большими внутренними напряжениями, которые сдерживают движение доменных границ. Поэтому при повышении напряженности внешнего поля границы остаются неподвижными и скачки э.д.с. Баркгаузена большую часть полупериода отсутствуют. Только при напряженности внешнего поля, близкой к максимальной, границы

срываются из положения неустойчивого равновесия и образуют узкий пакет небольшой амплитуды (рис.7). Процедура отпуска приводит к распаду мартенсита на ферритокарбидную смесь. Параметры эффекта Баркгаузена также претерпевают изменения: амплитуда ОСБ с ростом температуры отпуска повышается, скачки э.д.с. Баркгаузена имеют различную амплитуду и возникают уже при небольших напряженностях внешнего поля.

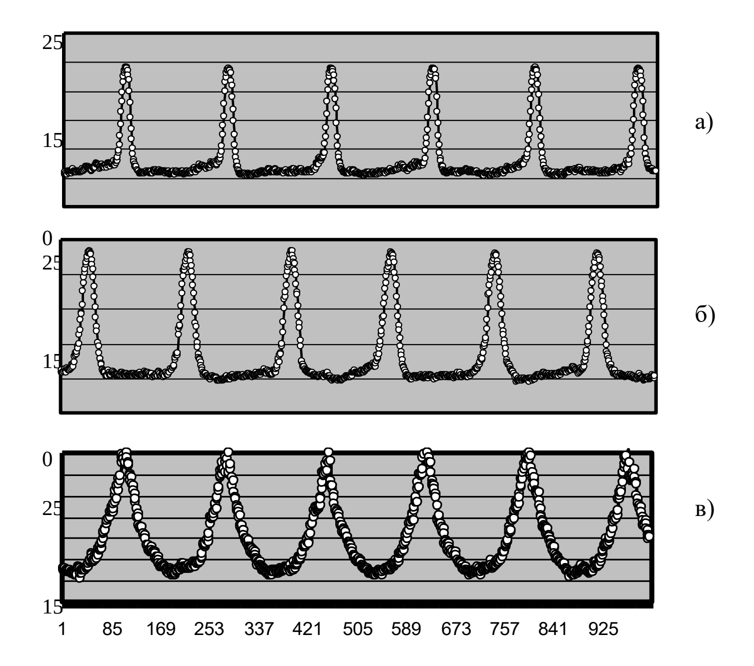


Рис.7. Осциллограммы ОСБ стали ХНМА после закалки (а), отпуска при 200°С (б) и 550°С (в)

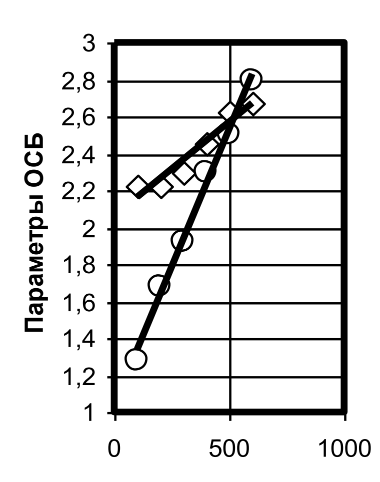


Рис.8. Зависимость параметров ОСБ стали ХНМА от температуры отпуска: ◊ - амплитуда ОСБ, мВ; O - площадь ОСБ, 10^{-3}мВ^2

На рис.8 показаны зависимости амплитуды ОСБ и площади, занимаемой пакетами ОСБ, от температуры отпуска. Очевидно, что площадь пакетов ОСБ является более информативным параметром, так как чувствительность ее выше, а разброс данных меньше, чем при амплитудном анализе.

Выводы. Таким образом, использование информационно-измерительного комплекса УКМШ для получения и автоматизированной обработки информации о динамике магнитной структуры и ее взаимосвязи с кристаллическим строением ферромагнитных материалов позволяет расширить диапазон информативных параметров эффекта Баркгаузена, существенно сократить время, затрачиваемое на проведение исследований, повысить достоверность получаемых результатов.

Библиографический список

1. Колачевский Н.Н. Экспериментальное исследование влияния упругих напряжений, термообработки и кристаллической структуры ферромагнитного образца на интенсивность магнитных шумов. // ФММ. – 1961. – Вып.2. – С.211-214.

2. Пустынников В.Г., Васильев В.М. Влияние упругой и пластической деформации стальных образцов на спектр магнитных шумов. // Дефектоскопия. – 1973. – №5 – С.126-129.

3. Венгринович В.Л. Магнитошумовая структуроскопия. – Минск: Наука и техника,1991. – 285 с.

4. Гришаков С.В., Ковалев А.И. Оценка напряжений и повреждений в ферромагнитных материалах методом магнитных шумов. – Киев: Наукова думка, 1991. – 167 с.

Материал поступил в редакцию 5.07.06.

V.N.ANANCHENCO, I.C.TSIBRY, E.V.VIAKHIREVA, V.V.GOLOVKIN

INFORMATIVE-MEASURING COMPLEX FOR MONITORING OF FERROMAGNETIC MATERIALS

In article is described the universal informative-measuring complex for registration and transformation the information about parameters of Barkhausen's effect in a large number of ferromagnetics in regime on-line.

АНАНЧЕНКО Владимир Николаевич (р. 1938), профессор кафедры "Приборостроение", декан факультета "Автоматизация и информатика" ДГТУ. Окончил РИСХМ (1961). Основные направления научных исследований – разработка систем управления и контроля качества для автоматизированного производства.
Автор более 100 публикаций.

ЦЫБРИЙ Ирина Константиновна, доцент кафедры "Приборостроение" ДГТУ. Окончила РИСХМ (1973). Основные направления научных исследований - магнитные свойства и методы исследований ферромагнитных металлов и сплавов.
Автор более 100 публикаций.

ВЯХИРЕВА Елена Владимировна, аспирант кафедры "Материаловедение и физические методы исследования" ДГТУ. Окончила ДГТУ (2002). Основное направление научных исследований - магнитные свойства и методы исследований магнитомягких материалов после термического воздействия.
Автор 5 публикаций.

ГОЛОВКИН Виктор Викторович (р. 1956), доцент кафедры "Приборостроение" ДГТУ. Окончил РИСХМ (1978). Основное направление научных исследований – контроль параметров технологических процессов.
Автор 20 публикаций.